



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 39 38 898.0  
22 Anmeldetag: 24. 11. 89  
43 Offenlegungstag: 29. 5. 91

DE 39 38 898 A 1

71 Anmelder:  
Sartorius AG, 3400 Göttingen, DE

72 Erfinder:  
Haar, Paul von der, 3400 Göttingen, DE; Pandit,  
Madhukar, Prof., 6750 Kaiserslautern, DE; Merz,  
Hermann, 6670 St Ingbert, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zum pulsationsfreien kontinuierlichen gravimetrischen Dosieren

Bei einem Verfahren zur gravimetrischen Regelung eines Massenstromes von einem bzw. in einen Behälter, der sich auf einer Waage befindet, unter Benutzung einer pulsierenden Dosierpumpe, wird das Ausgangssignal der Waage digital derart gefiltert, daß der zeitliche Verlauf des Massenstromes aus dem gefilterten Wägesignal zyklusweise geschätzt wird. Aus diesem Schätzwert des zeitlichen Verlaufes des Massenstromes wird der zeitliche Verlauf eines Hilfsmassenstromes berechnet, der die Pulsation des Massenstromes der pulsierenden Dosierpumpe ausgleicht und aus dem zeitlichen Verlauf des Hilfsmassenstromes wird ein Drehzahlverlauf zur Ansteuerung einer Hilfsdosierpumpe berechnet (Fig. 1).

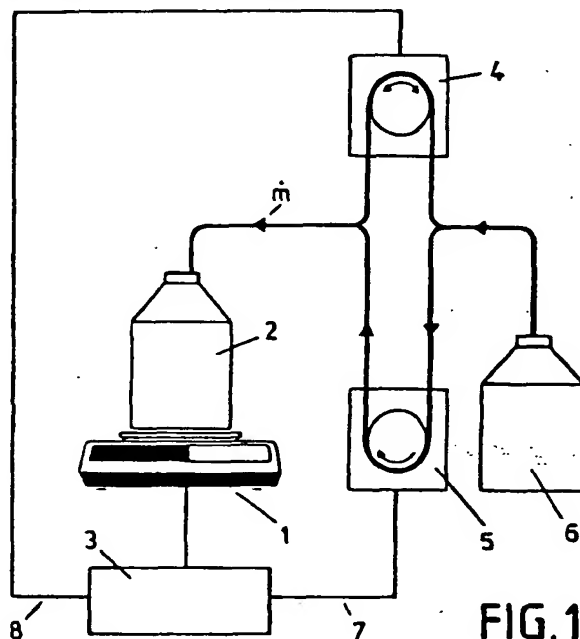


FIG. 1

DE 39 38 898 A 1

Die Erfindung bezieht sich zum einen auf ein Verfahren zur gravimetrischen Regelung eines Massenstromes von einem bzw. in einen Behälter, der sich auf einer Waage befindet, unter Benutzung einer pulsierenden Dosierpumpe, und zum anderen auf eine Vorrichtung zur gravimetrischen Regelung eines Massenstromes mit einer Dosierpumpe, die das Dosiergut von einem bzw. in einen Behälter, der sich auf einer Waage befindet, dosiert, wobei die Förderstärke der Dosierpumpe pulsierende Anteile enthält, und mit einer Regeleinheit, die aufgrund des Ausgangssignals der Waage die Förderstärke der Dosierpumpe so regelt, daß der zeitliche Mittelwert der Förderstärke einen vorgegebenen Sollwert erreicht.

Ein Verfahren und eine Vorrichtung dieser Art sind aus dem Zeitschriftenartikel "Einsatz einer mikroprozessorgeregelten Dosiereinrichtung in der Biotechnologie" von K. Memmert, R. Uhlendorf und C. Wandrey in Chemie-Ingenieur-Technik 59 (1987) Nr. 6, Seite 501 - 504 bekannt.

Nachteilig an diesem bekannten Verfahren und dieser bekannten Vorrichtung ist, daß für den Einsatz unter sterilen Bedingungen praktisch nur Pumpen bekannt sind, deren Förderstrom aus einzelnen Förderimpulsen zusammengesetzt ist. Als Beispiel werden in dem oben angegebenen Artikel Schlauchpumpen und Membranpumpen genannt. Für viele Anwendungen stört diese Pulsation nicht, und es reicht aus, den zeitlichen Mittelwert auf dem vorgegebenen Sollwert zu halten. Für manche Anwendungen - besonders bei sehr geringen Dosierströmen - stört dieser pulsierende Anteil jedoch, und es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur pulsationsfreien gravimetrischen Dosierung anzugeben.

Erfindungsgemäß wird dies beim Verfahren zur gravimetrischen Regelung eines Massenstromes dadurch erreicht, daß das Ausgangssignal der Waage digital gefiltert wird, daß der zeitliche Verlauf des Massenstromes aus dem gefilterten Wägesignal zyklusweise geschätzt wird, daß aus diesem Schätzwert des zeitlichen Verlaufes des Massenstromes der zeitliche Verlauf eines Hilfsmassenstromes berechnet wird, der die Pulsation des Massenstromes der pulsierenden Dosierpumpe ausgleicht und daß aus dem zeitlichen Verlauf des Hilfsmassenstromes ein Drehzahlverlauf zur Ansteuerung einer Hilfsdosierpumpe berechnet wird.

Bei der Vorrichtung zur gravimetrischen Regelung eines Massenstromes wird dies dadurch erreicht, daß der Dosierpumpe eine Hilfsdosierpumpe parallel geschaltet ist, daß die Förderstärke der Hilfsdosierpumpe von der Regeleinheit so gesteuert wird, daß die Summe der Förderstärken der beiden Pumpen pulsationsfrei ist und daß die Förderstärke der Hauptdosierpumpe von der Regeleinheit so geregelt wird, daß die Summe der Förderstärken auf dem vorgegebenen Sollwert gehalten wird.

Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Dosiervorrichtung,

Fig. 2 ein Flußdiagramm des Dosierverfahrens,

Fig. 3 den zeitlichen Verlauf der Förderstärke einer Schlauchpumpe,

Fig. 4 den zeitlichen Verlauf der Förderstärke der

# Hilfsdosierpumpe und

Fig. 5 ein Schema eines digitalen Dreifachpolynomfilters.

In der schematischen Darstellung der Dosiervorrichtung in Fig. 1 ist das Prozeßgefäß, in das dosiert werden soll, mit 2 bezeichnet. Dieses Prozeßgefäß 2 steht auf einer Waage 1, deren Ausgangssignal einer Regeleinheit 3 zugeführt wird. Diese Regeleinheit 3 steuert einmal über die Leitung 7 die Dosierpumpe 5, die das zu dosierende Medium aus einem Vorratsbehälter 6 in das Prozeßgefäß 2 fördert. Zum anderen steuert die Regeleinheit 3 über die Leitung 8 eine zusätzliche Hilfsdosierpumpe 4.

Das Zusammenspiel dieser Komponenten bei der Dosierung ergibt sich aus dem Flußdiagramm in Fig. 2. In der Mitte sind das Prozeßgefäß 2 und die Waage 1 gezeigt. Das Waagenausgangssignal  $m$  ist proportional zur Gesamtmasse des Prozeßgefäßes 2 mit Inhalt. Durch Differentiation in der Funktionsgruppe 10 wird die Massenänderung pro Zeiteinheit  $\dot{m}$  - und damit der momentane Massenzufluß ermittelt. Dieser Wert  $\dot{m}$  wird in der Funktionsgruppe 11 durch einen Tiefpaß gefiltert und dadurch kurzzeitige Störungen im Ausgangssignal der Waage 1 und die pulsierenden Anteile im Massenfluß unterdrückt. Dieser gemittelte Wert für den Massenzufluß wird in der Funktionsgruppe 12 mit dem vorgegebenen Sollwert verglichen, und je nach Ergebnis dieses Vergleiches wird die Drehzahl der Schlauchpumpe 5 erhöht, erniedrigt oder konstant gelassen. - Diese eben beschriebene und in Fig. 2 links gezeichnete Regelschleife ist bereits bekannt.

Zusätzlich ist nun in Fig. 2 eine zweite, rechts gezeichnete Schleife vorgesehen, die die Hilfsdosierpumpe 4 ansteuert. In dieser Schleife wird das Waagenausgangssignal zunächst in einem digitalen Filter 13 gefiltert. Dieses digitale Filter 13 kann z. B. ein Dreifachpolynomfilter sein, wie es weiter unten anhand von Fig. 5 noch genauer beschrieben wird. Das gefilterte Signal wird einem nicht linearen Schätzer 14 zugeführt, in dem der zeitliche Verlauf eines Hilfsmassenstromes so geschätzt wird, daß die Summe aus dem Hilfsmassenstrom und dem Massenstrom der Dosierpumpe 5 zeitunabhängig, also pulsationsfrei, ist. Über eine Pumpensteuerung 15 wird dann die Hilfsdosierpumpe 4 so angesteuert, daß sie den geschätzten Hilfsmassenstrom erzeugt. - Die in Fig. 2 rechts gezeichnete Schleife mit der Hilfsdosierpumpe 4 dient also nur der Glättung der Pulsation der Dosierpumpe 5, die Einstellung auf den geforderten Sollwert des zu dosierenden Massenstromes und die langzeitkonstante Einhaltung dieses Sollwertes erfolgt unverändert durch die Regelung der Drehzahl der Dosierpumpe 5 über die in Fig. 2 links gezeichnete Regelschleife. Die Pumpensteuerung 15 benötigt zur Synchronisierung der Drehbewegung der Hilfsdosierpumpe 4 mit der Drehbewegung der Dosierpumpe 5 die Information über die aktuelle Winkellage der Hilfsdosierpumpe 4 und der Dosierpumpe 5. Diese Information erhält sie über die Leitungen 16 und 17.

Ein Beispiel für den zeitabhängigen Verlauf der Förderstärke einer Schlauchpumpe ist in Fig. 3 gezeigt. Waagrecht ist die Zeit  $t$  aufgetragen, senkrecht die Förderstärke  $m_s$ . Nach einer etwa konstanten Förderstärke während des größten Teils einer Umdrehung folgt jeweils ein starker Einbruch, der bis zu negativen Werten der Förderstärke (Umkehr der Förderrichtung) gehen kann, zu dem Zeitpunkt, in dem die Quetschrolle die Quetschphase beendet und der Schlauch wieder in seine runde Querschnittsform zurückkehrt. Die Zeit von

$t_1$  bis  $t_2$  entspricht bei einem Pumpenkopf mit zwei Quetschrollen einer halben Umdrehung des Pumpenkopfes. — Der zeitliche Mittelwert der Förderstärke ist in Fig. 3 gestrichelt eingezeichnet.

Um den in Fig. 3 gezeigten Verlauf der Förderstärke der Dosierpumpe 5 durch die Förderstärke einer Hilfsdosierpumpe 4 zu einer pulsationsfreien Gesamtförderstärke zu ergänzen, muß die Förderstärke der Hilfsdosierpumpe 4 den in Fig. 4 gezeigten Verlauf aufweisen. Dieser Verlauf wird vom Schätzer 14 (Fig. 2) nach mathematischen Methoden aus dem gefilterten Ausgangssignal der Waage 1 geschätzt und von der Pumpensteuerung 15 (Fig. 2) in entsprechende Stellbefehle für den Antrieb der Hilfsdosierpumpe 4 umgesetzt. Der Antrieb der Hilfsdosierpumpe 4 kann z. B. durch einen Schrittmotor erfolgen, wodurch sich eine einfache Steuerungsmöglichkeit sowohl vorwärts als auch rückwärts ergibt. Die Hilfsdosierpumpe 4 kann z. B. ebenfalls eine Schlauchpumpe sein wie die Dosierpumpe 5. In Fig. 4 ist der zeitliche Mittelwert der Förderstärke  $m_4$  der Hilfsdosierpumpe Null, die Hilfsdosierpumpe 4 kann also immer im Bereich etwa konstanter Förderstärke pro Drehwinkel betrieben werden und braucht den Bereich in der Umgebung der Zeiten  $t_1$  und  $t_2$  in Fig. 3 nicht zu berühren. Dadurch ist der Umrechnungsfaktor zwischen Drehwinkel und Förderstärke für die Hilfsdosierpumpe 4 praktisch konstant und die Mathematik zur Umrechnung entsprechend einfach. — Dieser Betrieb der Hilfsdosierpumpe 4 mit der mittleren Förderstärke Null ist zwar besonders zweckmäßig, aber nicht unbedingt notwendig.

Der Schätzer 14 erhält seine Information über den Verlauf der Förderstärke der Hilfsdosierpumpe 4 am besten, indem in einer Lernphase die Dosierpumpe 5 stillsteht und die Hilfsdosierpumpe 4 einige Umdrehungen ausführt. Aus dem Ausgangssignal der Waage 1 unter dem Prozeßgefäß 2 kann der Schätzer 14 dann den Verlauf der Förderstärke der Hilfsdosierpumpe 4 entnehmen.

Der Schätzer 14 erhält seine Information über den Verlauf der Förderstärke der Dosierpumpe 5, indem er aus dem Ausgangssignal der Waage 1 unter dem Prozeßgefäß 2 den zeitlichen Verlauf des Massenstromes  $m$ , welcher die Summe des Massenstromes  $m_5$  der Dosierpumpe 5 und des Hilfsmassenstromes  $m_4$  der Hilfsdosierpumpe 4 darstellt, schätzt. Wird der mit der Information aus der Lernphase berechenbare Hilfsmassenstrom  $m_4$  der Hilfsdosierpumpe 4 von dem geschätzten Massenstrom  $m$  subtrahiert, liegt der zeitliche Verlauf des Massenstromes  $m_5$  der Dosierpumpe 5 vor.

Die Schätzeinrichtung 14 liefert die Information über den aktuellen Massenstrom  $m$  mit einer durch die digitale Filterung 13 bedingten, konstanten Verzögerung, so daß das Steuerprofil für die Hilfsdosierpumpe 4 erst im nächstfolgenden Zyklus zur Kompensation verwendet wird.

Um kleine Störungen im Ausgangssignal der Waage 1 — die z. B. von Erschütterungen oder dem Aufprall des dosierten Mediums herrühren — zu unterdrücken, ohne die Reaktionsgeschwindigkeit der Waage und der Dosierregelung zu sehr herabzusetzen, ist vorteilhafterweise in der Waage 1 nur eine analoge Vorfilterung mit einer oberen Grenzfrequenz von etwa 20 Hz eingebaut, und das in Fig. 2 gezeigte digitale Filter 13 besitzt die in Fig. 5 gezeigte Filterstruktur. Dieses sogenannte Dreifachpolynomfilter besteht aus drei Polynomfiltern 20, 21 und 22, durch die das digitale Ausgangssignal der Waage 1 nach mathematischen Methoden von durch die

analoge Vorfilterung nicht unterdrückten Störungen befreit wird. Die Ausgangssignale der einzelnen Polynomfilter werden über eine Auswahleinrichtung 23 zum endgültigen Filtersignal zusammengesetzt (Filterausgang 4).

Alle im Flußdiagramm in Fig. 2 gezeigten Filter, Schätzer und Regelungsgruppen sind in Fig. 1 zu der Regeleinheit 3 zusammengefaßt. Wesentliche Teile dieser Regeleinheit können z. B. durch einen Mikroprozessor oder einen PC realisiert sein.

Die im vorstehenden anhand einer Zudosierung in ein Prozeßgefäß beschriebene Vorrichtung kann selbstverständlich auch mit umgekehrter Flußrichtung zum pulsationsfreien Abziehen einer Substanz aus einem Prozeßgefäß benutzt werden. Die in Fig. 1 eingezeichneten Flußrichtungen und Drehrichtungen der Pumpen sind dann umgekehrt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur gravimetrischen Regelung eines Massenstromes von einem bzw. in einen Behälter, der sich auf einer Waage befindet, unter Benutzung einer pulsierenden Dosierpumpe, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal der Waage digital gefiltert wird, daß der zeitliche Verlauf des Massenstromes aus dem gefilterten Wägesignal zyklusweise geschätzt wird, daß aus diesem Schätzwert des zeitlichen Verlaufes des Massenstromes der zeitliche Verlauf eines Hilfsmassenstromes berechnet wird, der die Pulsation des Massenstromes der pulsierenden Dosierpumpe ausgleicht und daß aus dem zeitlichen Verlauf des Hilfsmassenstromes ein Drehzahlverlauf zur Ansteuerung einer Hilfsdosierpumpe berechnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal der Waage analog vorgefiltert wird, bevor es dem digitalen Filter zugeführt wird, wobei die obere Grenzfrequenz dieses analogen Tiefpaßfilters zwischen 15 Hz und 25 Hz liegt.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Digitalfilter ein Dreifachpolynomfilter benutzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitliche Verlauf des Massenstromes mit einem nichtlinearen Schätzalgorithmus ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der zeitliche Mittelwert der Förderstärke der Hilfsdosierpumpe Null ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Lernphase bei stillstehender Hilfsdosierpumpe der zeitliche Verlauf des Massenstromes der Dosierpumpe über mindestens einen Zyklus ermittelt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Lernphase bei stillstehender Dosierpumpe der zeitliche Verlauf des Massenstromes der Hilfsdosierpumpe über mindestens einen Zyklus ermittelt wird.
8. Vorrichtung zur gravimetrischen Regelung eines Massenstromes mit einer Dosierpumpe, die das Dosiergut von einem bzw. in einen Behälter, der sich auf einer Waage befindet, dosiert, wobei die Förderstärke der Dosierpumpe pulsierende Anteile enthält, und mit einer Regeleinheit, die aufgrund

des Ausgangssignals der Waage die Förderstärke der Dosierpumpe so regelt, daß der zeitliche Mittelwert der Förderstärke einen vorgegebenen Sollwert erreicht, dadurch gekennzeichnet, daß der Dosierpumpe eine Hilfsdosierpumpe parallel geschaltet ist, daß die Förderstärke der Hilfsdosierpumpe von der Regeleinheit so gesteuert wird, daß die Summe der Förderstärken der beiden Pumpen pulsationsfrei ist und daß die Förderstärke der Hauptdosierpumpe der Regeleinheit so geregelt wird, daß die Summe der Förderstärken auf dem vorgegebenen Sollwert gehalten wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Dosierpumpe und die Hilfsdosierpumpe Schlauchpumpen sind.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Hilfsdosierpumpe durch einen Schrittmotor angetrieben wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

— Leerseite —

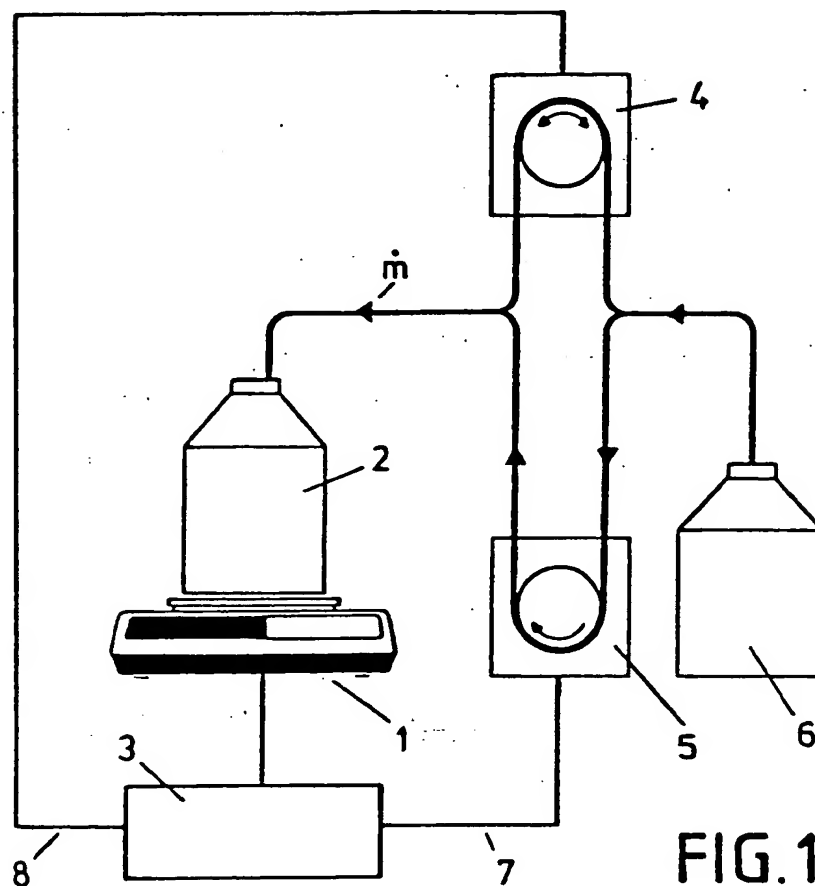


FIG.1

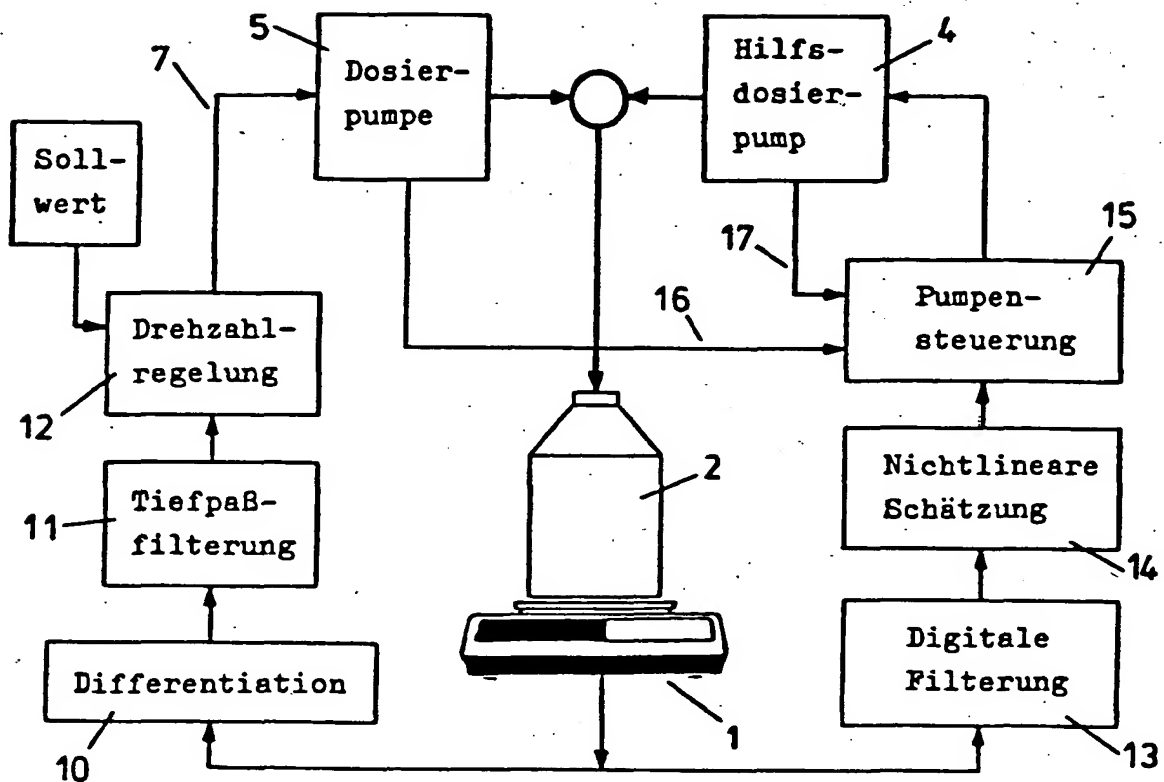


FIG. 2

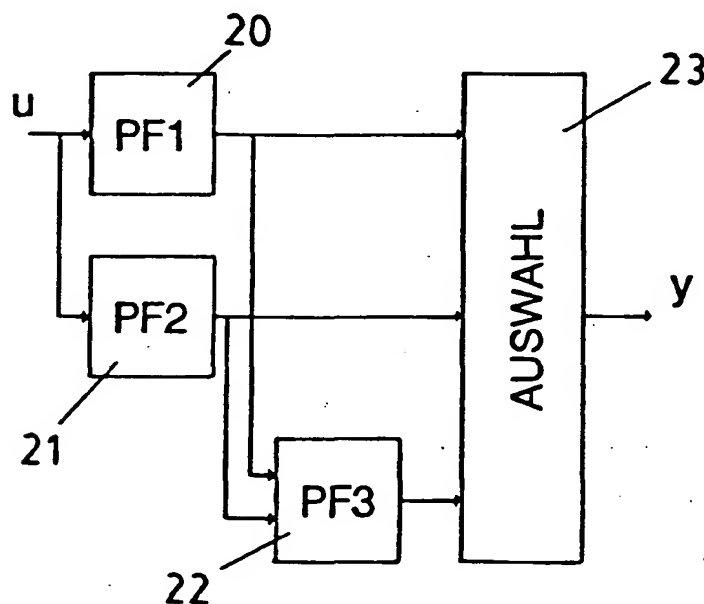


FIG. 5

